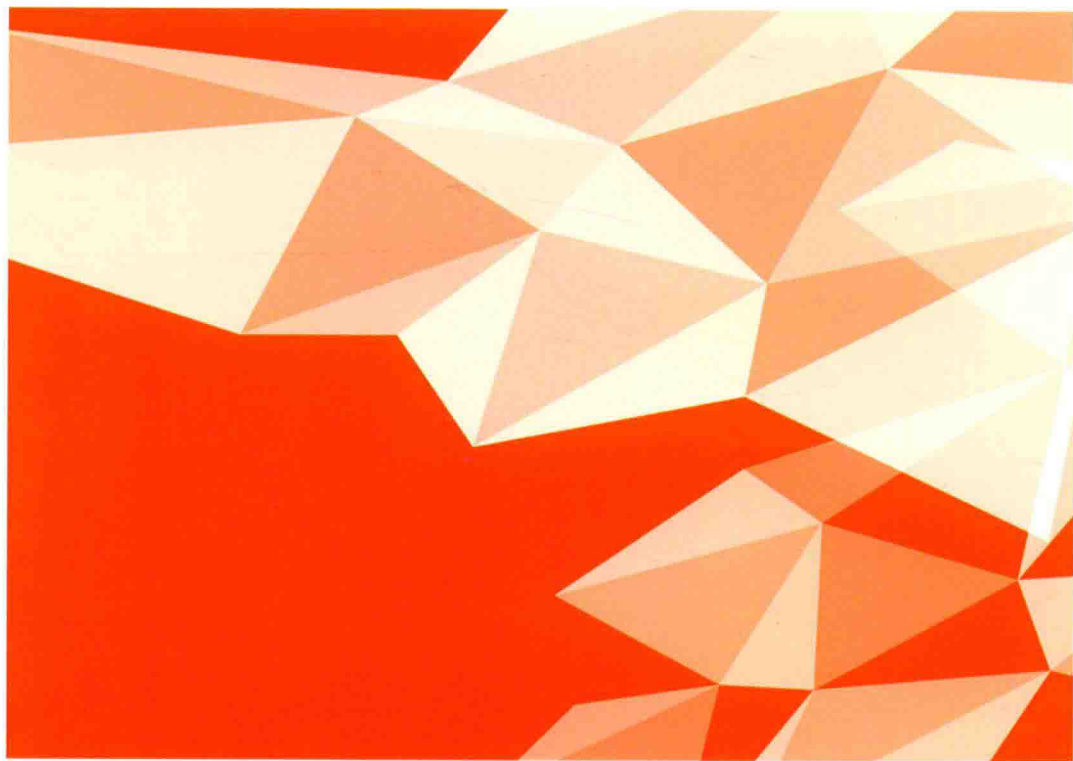



畅享计量·测量仪器

压力表检定与校准

林景星 孙俊峰 编著



 中国质检出版社

压力表检定与校准

林景星 孙俊峰 编著

中国质检出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

压力表检定与校准/林景星,孙俊峰编著. —北京:
中国质检出版社, 2018. 2

ISBN 978-7-5026-4545-8

I. ①压… II. ①林… ②孙 III. ①压力仪表-检定
②压力仪表-校正 IV. ①TH812

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 000420 号

中国质检出版社出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)

北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址:www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 4.5 字数 88 千字

2018 年 2 月第一版 2018 年 2 月第一次印刷

*

定价:27.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68510107

目 录

第1章 压力概述	1
第1节 压力、静压力	1
第2节 常用压力术语	2
第3节 压力计量单位	4
第2章 压力表	7
第1节 压力表分类	7
第2节 压力表结构和原理	8
第3节 弹性元件基本特性	16
第3章 压力表检定与校准	18
第1节 压力表检定准备	18
第2节 压力表检定过程	22
第3节 压力表检定结果处理	32
第4节 压力表检定注意事项	34
第5节 检定示值超差及调整	36
第4章 压力表测量结果不确定度评定	39
第1节 不确定度评定及注意事项	39
第2节 不确定度评定示例	46

第5章 计量标准考核技术问题	55
第1节 计量标准考核相关内容填写	56
第2节 计量标准稳定性考核	59
第3节 检定或校准结果重复性试验	62
第4节 检定或校准结果验证	63
参考文献	66

第 1 章 压力概述

第 1 节 压力、静压力

1. 压力

在物理学中,将垂直作用于单位面积上的力称为“压强”,而在工程技术中所用的压力就是指物理学中的压强,如图 1-1 所示。根据压力的定义,其基本公式可表示为式(1-1)。

$$p = \frac{F}{S} \quad (1-1)$$

式中: p ——压力,Pa;

F ——垂直作用力,N;

S ——作用面积, m^2 。

从式(1-1)中可知,压力与作用力成正比,而与作用面积成反比。在同一作用力的情况下,当作用面积大时压力小,作用面积小时压力大;相反,当作用面积一定时,压力随作用力的增大而增大,随着作用力的减小而减小。

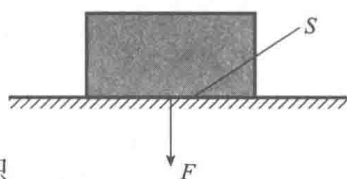


图 1-1 压力示意

2. 静止流体中的压力

流体的自由面处于静止,而且保持与水平面平行,流体静压力的方向永远沿着作用力的法线方向,流体中任一点上各方向的静压力均相等。

加在密封液体上压力,能够按照原来的大小由液体向各个方向传递称为帕斯卡定律。流体对装该流体的容器底部和侧壁均有压力作用,其任一点的压力与流体表面到该点深度成正比。液体内某点的压力计算如式(1-2)所示。在同一水平面的所有各点压力是相等的,而且同一水平面各方向压力相等。

$$p_h = \rho gh \quad (1-2)$$

式中: p_h ——测量点液体压强,Pa;

ρ ——液体的密度, kg/m^3 ;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

h ——测量点距离液面的深度,m。

如图 1-2 所示,液体中 A 点和 B 点在同一水平面上,距离液面的深度为 h_1 , A 点和 B 点的压力相等,根据式(1-2)得到 $p_A = p_B = \rho gh_1$; C 点和 D 点在同一水平面上,距离液面的深度为 h_2 , C 点和 D 点的压力相等, $p_C = p_D = \rho gh_2$; C、D 点与 A、B 点的压力差为 $\Delta p = \rho g \Delta h$ 。

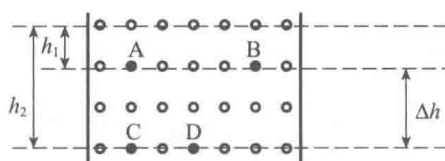


图 1-2 液体压力

第 2 节 常用压力术语

在工程技术中,使用以下压力名词术语:

1. 绝对压力 p_A

以完全真空作参考点的压力。

绝对压力是相对于绝对真空所测得的压力,即从完全的零压力开始所测得的压力。它是液体、气体或蒸汽所处空间的全部压力,也叫不带条件起算的全压力。当然,得到完全真空是不可能的,因此一般说流体的绝对压力应是流体的压力与真空中残余压力的差值。

但是,随着科学技术的发展,已可能得到几乎接近完全真空。对一般压力计量测试而言,其真空度到 $(10^{-1} \sim 10^{-2})$ Pa 则可认为是完全真空,一般用 p_A 或 abs 表示绝对压力。

2. 大气压力(又称气压) p_0

地球表面大气层空气柱重力所产生的压力。

围绕地球的大气层的重力对地球表面单位面积上所产生的压力就是大气压力。它随某一地点离海平面的高度、所处纬度和气象情况而变化,并且随着时间、地点的不同而变化。用符号 p_0 表示。

标准大气压力是在标准大气条件下海平面的气压,1644 年由物理学家托里拆利提出,其值为 101.325 kPa。

$$1 \text{ 个标准大气压力} = 760 \times 10^{-3} \text{ m} \times 13.5951 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9.80665 \text{ m/s}^2 = 101325 \text{ Pa}$$

3. 相对压力 p

(1) 表压力 p_g

以大气压力为参考点,大于或小于大气压力的压力。

(2) 正[表]压力(又称正压)

以大气压力为参考点,大于大气压力的压力。

当绝对压力大于大气压力时,大气压力与绝对压力之差称为正压力,用 p_g 表示。一般压力仪表,若无特殊装置,其零位压力实际就是当时的大气压力,即当 $p_A > p_0$ 时,正压力 p_g 为

$$p_g = p_A - p_0 \quad (1-3)$$

式(1-3)变换后得到绝对压力 p_A 为

$$p_A = p_0 + p_g \quad (1-4)$$

(3) 负[表]压力(又称负压) p_v

以大气压力为参考点,小于大气压力的压力。

当绝对压力小于大气压力时,大气压力与绝对压力之差称为负压力,用 p_v 表示。即当 $p_A < p_0$ 时,负压力 p_v 为

$$p_v = p_0 - p_A \quad (1-5)$$

(4) 差压[力] p_d

任意两个相关压力之差。

两个压力之间的差值称为差压,或者以大气压力以外的任意压力作为零位所表示的压力,用 p_d 表示。

4. 真空度(V)

处于真空状态下的气体稀薄程度的习惯用语。用压力值表示,以 Pa 为单位。

当绝对压力低于大气压力称为真空度。

5. 静态压力

在所研究的领域内,不随时间变化或随时间而缓慢变化的压力。

压力绝对不变化是不可能的,一般规定压力随时间的变化每秒钟不超过压力计分度值的 1% 或每分钟不超过 5%,可认为是静态压力。

6. 动态压力

在所研究的领域内,随时间变化而变化的压力。

做周期变化的叫脉动压;一般又将非周期变化的压力称为变动压;把不连续而变化的称为冲击压。

大气压力、绝对压力和相对压力之间的关系:

从图 1-3 中还可以看出,当绝对压力大于大气压力时,绝对压力是表压力与大气压力之和;当绝对压力小于大气压力时,绝对压力是大气压力与负压力之差。换言之,若负压力取负值,则绝对压力也是大气压力与负压力之和。当绝对压力与大气压力相等时,只指示出大气压力。大气压力是绝对压力的一种方式。从式(1-4)、式(1-5)可知,

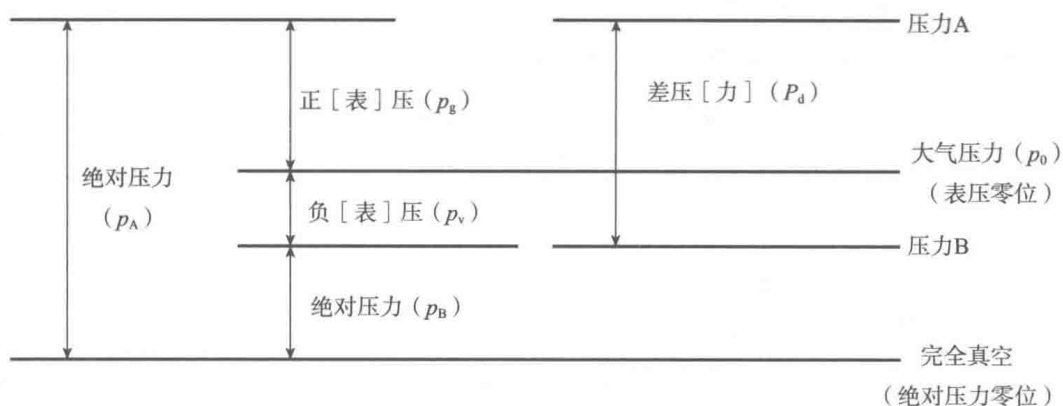


图 1-3 绝对压力、大气压力和相对压力之间关系

当 $p_A = p_0$ 时, $p_g = 0$, 即表压为零, 负压也为零。故表压或负压都是以大气压力为基准零位进行测量的。

差压可以是某任意点作为基准零位所求出两压力之差。实际上, 表压也是差压, 只不过此时将大气压力作为零对待而已。

第 3 节 压力计量单位

1. 国际单位制中压力单位及其物理意义

国际单位制中的压力单位是牛/米², 又称帕斯卡, 简称“帕”(以 Pa 表示)。它的物理意义是: 1N 的力垂直均匀地作用于 1m² 面积上所产生的压力。即

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 (\text{kg} \cdot \text{m/s}^2) / \text{m}^2 = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} \quad (1-6)$$

式中: Pa——帕斯卡, 压力单位;

N——牛顿, 力单位;

kg——千克, 质量单位;

m——米, 长度单位;

s——秒, 时间单位。

从压力的定义已知, 压力单位不是基本单位, 而是一个导出单位, 它是由力的单位和长度的单位组合成的一个单位。

1971 年第 14 届国际计量大会上决定给予压力单位具有专门名称的导出单位。

另外, 1998 年由原国家质量技术监督局和卫生部共同发布“质技监局量函〔1998〕126 号”文通知: 在临床病历、体检报告、诊断证明、医疗证明、医疗记录等非出版物中可使用毫米汞柱 (mmHg) 或千帕斯卡 (kPa); 在出版物及血压计 (表) 使用说明中可使用千帕

斯卡(kPa)或毫米汞柱(mmHg),如果使用 mmHg 应明确 mmHg 与 kPa 换算关系;根据国际交流和国外学术期刊的需要,可任意选用 mmHg 或 kPa。但在血压计(表)等计量器具铭牌按 JJG 270《血压计和血压表》有关规定采用“双标尺”,即 kPa 与 mmHg 同时存在。

2. 国家法定计量单位与其他压力单位换算关系

1984年,我国规定“帕[斯卡]”作为法定的压力计量单位,单位符号“Pa”,以及帕[斯卡]构成的十进倍数单位,如 hPa、kPa、MPa 等。压力计量单位符号表示应正确,不应有表 1-1 中所列出的情况发生。

表 1-1 压力计量单位常出现的错误表示

单位名称	正确表示	错误表示
帕[斯卡]	Pa	pa, PA
千帕[斯卡]	kPa	Kpa, kpa, KPA
兆帕[斯卡]	MPa	mpa, Mpa, MPA

虽然规定国家法定的压力计量单位只能使用国际单位制单位——帕斯卡,但随着对外开放及技术引进,有许多单位进口的压力仪表还使用非法定计量单位。为了便于换算,介绍几种常见的压力单位与帕斯卡的换算关系。

$$1 \text{ hPa(百帕)} = 100 \text{ Pa(帕)} = 1 \times 10^2 \text{ Pa(帕)}$$

$$1 \text{ kPa(千帕)} = 1000 \text{ Pa(帕)} = 1 \times 10^3 \text{ Pa(帕)}$$

$$1 \text{ MPa(兆帕)} = 1000000 \text{ Pa(帕)} = 1 \times 10^6 \text{ Pa(帕)}$$

$$1 \text{ bar(巴)} = 100000 \text{ Pa(帕)} = 1 \times 10^5 \text{ Pa(帕)}$$

$$1 \text{ mbar(毫巴)} = 100 \text{ Pa(帕)} = 1 \times 10^2 \text{ Pa(帕)}$$

$$1 \text{ psi(磅力/平方英寸)} = 6894.76 \text{ Pa(帕)}$$

$$1 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (公斤力/平方厘米)} = 98066.5 \text{ Pa(帕)}$$

$$1 \text{ mmHg(毫米汞柱)} = 133.322 \text{ Pa(帕)}$$

$$1 \text{ mmH}_2\text{O(毫米水柱)} = 9.80665 \text{ Pa(帕)}$$

不同压力单位之间也可以根据表 1-2 进行换算。



表 1-2 压力计量单位换算

	牛顿/米 ² (帕斯卡) N/m ² (Pa)	公斤力/米 ² kgf/m ²	公斤力/厘米 ² kgf/cm ²	巴 bar	标准大气压 atm	毫米水柱 mmH ₂ O	毫米水银柱 mmHg
牛顿/米 ² (帕斯卡) N/m ² (Pa)	1	0.101972	10.1972 × 10 ⁻⁶	1 × 10 ⁻⁵	0.986923 × 10 ⁻⁵	0.101972	7.50062 × 10 ⁻³
公斤力/米 ² kgf/m ²	9.80665	1	1 × 10 ⁻⁴	9.80665 × 10 ⁻⁵	9.67841 × 10 ⁻⁵	1 × 10 ⁻⁸	0.0735559
公斤力/厘米 ² kgf/cm ²	98.0665 × 10 ³	1 × 10 ⁴	1	0.980665	0.967841	10 × 10 ³	735.559
巴 bar	1 × 10 ⁵	10197.2	1.01972	1	0.986923	10.1972 × 10 ³	750.061
标准大气压 atm	1.01325 × 10 ⁵	10332.3	1.03323	1.01325	1	10.3323 × 10 ³	760
毫米水柱 mmH ₂ O	0.101972	1 × 10 ⁻⁸	1 × 10 ⁻⁴	9.80665 × 10 ⁻⁵	9.67841 × 10 ⁻⁵	1	73.5559 × 10 ⁻³
毫米水银柱 mmHg	133.322	13.5951	0.00135951	0.00133322	0.00131579	13.5951	1

注 1:1 工程大气压(at) = 1 kgf/cm²。

注 2:用水柱表示的压力,是以纯水在 4 ℃ 时的密度值(1.00 × 10³ kg/m³) 为标准的。

注 3:用毫米水银柱表示的压力,是以水银在 0 ℃ 时的密度值(13.5951 × 10³ kg/m³) 为标准的。

第2章 压力表

第1节 压力表分类

按照压力表特性进行分类。一般按准确度等级、外壳公称直径、弹性元件、使用介质、使用用途进行分类。

1. 按准确度等级分类

一般压力表按准确度等级分:1级、1.6级、2.5级、4级;

精密压力表按准确度等级分:0.1级、0.16级、0.25级、0.4级、0.6级。

2. 按压力表的外壳公称直径分类

压力表的外壳公称直径通常有 $\phi 40$ 、 $\phi 50$ 、 $\phi 60$ 、 $\phi 100$ 、 $\phi 150$ 、 $\phi 200$ 、 $\phi 250$ 、 $\phi 300$ 、 $\phi 400$ 等尺寸规格。

3. 按弹性元件分类

压力表按弹性元件分类主要有弹簧管压力表、膜片压力表、膜盒压力表、波纹管压力表等。

4. 按使用介质分类

压力表按使用介质分类主要有氧气压力表、乙炔压力表、二氧化碳压力表、氨压力表、氢气压力表等。

在其表盘上通常有汉字、字符或颜色等标记,例如氧气压力表上有“氧气”“ O_2 ”或天蓝色标记。

5. 按使用用途分类

根据不同的使用用途,可选择抗震压力表、电接点压力表、远传压力表、隔膜压力表、轮胎压力表、记录式压力表等。

抗震压力表(又称抗振压力表)是测量剧烈脉动压力或有瞬时冲击压力的压力表。表内装有硅油,压力突变时延缓指针的转动速率,用于振动和冲击环境条件下的压力测量。

电接点压力表是具有位式控制功能的压力表。不仅可以现场显示测量压力,还可以实现当压力达到预定值时发出信号,接通控制电路,达到二位控制报警或控制的目的。

远传压力表将压力信号转换成电信号后能及时通过电缆传至远离压力测量点的压力表。不仅可以现场显示测量压力,还可以通过电阻信号实现压力的实时传输,在二次仪表上显示出被测压力。

隔膜压力表是用隔膜装置使弹性敏感元件中的介质与测量压力介质隔离的压力表。适用于测量强腐蚀、高温、高黏度、易结晶、易凝固、有固体浮游物的介质压力以及避免测量介质直接进入通用型压力仪表和防止沉淀物积聚且不易清洗的场合。

轮胎压力表是测量汽车、飞机、摩托车等轮胎胎内压力的压力表。

记录式压力表是将压力量值可连续记录在记录纸上的压力表。

6. 按测量压力范围分类

压力表按测量压力范围分类可以分为表压压力表、压力真空表、真空表、差压表。

表压压力表是测量表压力的压力表,一般被简称为“压力表”。表压压力表的测量下限为0,测量上限一般为 1×10^n Pa、 1.6×10^n Pa、 2.5×10^n Pa、 4×10^n Pa、 6×10^n Pa(n 为正整数)。

压力真空表是可测量正压力和负压力的压力表。压力真空表的测量下限为 -0.1 MPa,测量上限为 $(0.3 \sim 2.4)$ MPa。

真空表是测量负压力的压力表。真空表的测量范围是 $(-0.1 \sim 0)$ MPa。

差压表是测量两个压力的差值的压力表。

第2节 压力表结构和原理

1. 弹簧管式压力表

(1) 弹簧管式压力表结构

弹簧管式压力表由测量系统(包括管接头、弹性元件和传动机构等)、指示部分(包括指针和表盘)和外壳部分(包括表壳、罩圈和表玻璃等)组成。仪表有较好的密封性,有的仪表还设有检封装置,能保护其内部测量机构免受机械损伤和污秽侵入。

弹簧管式压力表主要由带有螺纹接头的支持器、弹簧管、拉杆、调整螺钉、扇形齿轮、中心齿轮、游丝、指针、表盘、表壳等组成,如图2-1所示。

弹簧管式压力表各部分的作用:

弹簧管:弹簧管在被测介质压力或真空作用下,产生弹性变形,引起管端位移,将被测压力转换成位移量。

拉杆:将弹簧管自由端的位移传给扇形齿轮。

扇形齿轮:将线性位移转换角位移,并传给中心齿轮。

中心齿轮:带动了同轴的指针转动,在刻度盘上指示出被测压力值。

游丝:使扇形齿轮和小齿轮保持单向齿廓接触,消除两个齿轮接触间隙,以减少回程误差。

调整螺钉:改变调整螺钉的位置用以改变扇形齿轮短臂的长度,达到改变传动比的目的。

(2) 弹簧管式压力表工作原理

弹簧管式压力表的工作原理是利用弹簧管在压力作用下产生弹性形变,其形变的大小与作用的压力成一定的线性关系,通过传动机构(机芯)用指针或其他显示装置表示出被测的压力的测量仪表。

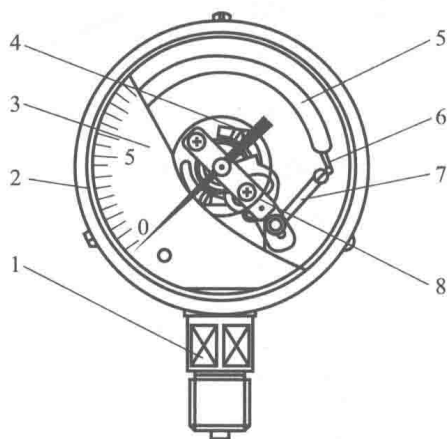


图 2-1 弹簧管式压力表结构图

1—接头;2—外壳;3—表盘;4—指针;
5—弹簧管;6—封头;7—拉杆;8—齿轮传动机构

压力表就是把压力物理量通过传动机构转化成位移量在压力表的表盘上直观显示出来。

2. 隔膜压力表

(1) 隔膜压力表结构

隔膜压力表是用隔离膜片将被测工作介质和传压介质相隔离的压力表。实际上,隔膜压力表是用隔膜装置和充有灌充液的一般压力表相组合而构成的一种压力表,其结构

如图 2-2 所示。

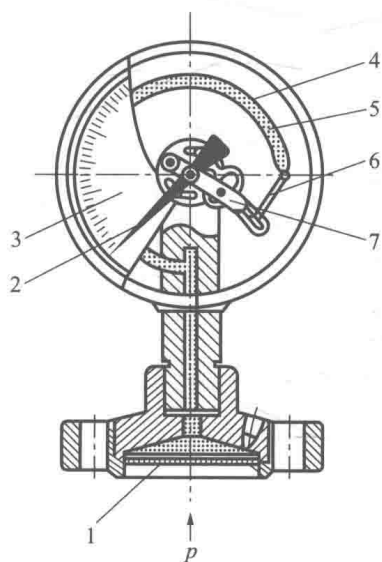


图 2-2 隔膜压力表结构示意图

1—隔膜膜片;2—指针;3—刻度盘;4—弹簧管;
5—灌充液;6—拉杆;7—传动装置

隔膜压力表由指示部分(压力表部分)、隔膜装置(膜片、法兰)和传压导管三部分组成。

用专用设备将压力表弹簧管内腔抽成真空,并充入灌充液,同时用隔离装置将其密封隔离。常用的灌充液为硅油、甘油、氟化油和植物油等。

(2) 隔膜压力表工作原理

隔膜压力表与被测压力装置牢固连接并密封不泄漏,当被测压力介质作用于隔离膜片的下方后,隔膜膜片产生向上的变形灌充液将被测压力传递给弹簧管,弹簧管产生弹性变形而引起管端位移,通过拉杆带动齿轮传动机构将位移量进行放大,同时带动指针转动,在刻度盘上指示出被测量压力值。

3. 膜片压力表

(1) 膜片压力表结构

膜片压力表是指用金属波纹膜片作弹性敏感元件的压力表。膜片压力表由法兰接头、膜片、传动机构、指示机构和外壳五部分组成,其结构如图 2-3 所示。下法兰接头与上法兰接头将膜片固定住,工作介质接触膜片后使膜片产生弹性变形,而不能进入表头中,所以膜片起到隔离工作介质的作用。

(2) 膜片压力表工作原理

当被测量压力工作介质通过接头进入膜片腔后,作用于膜片下方,膜片随之发生变形,固定在膜片中央的小柱推动连杆带动传动机构,同时使指针转动,在刻度盘上指示出被测量压力值。

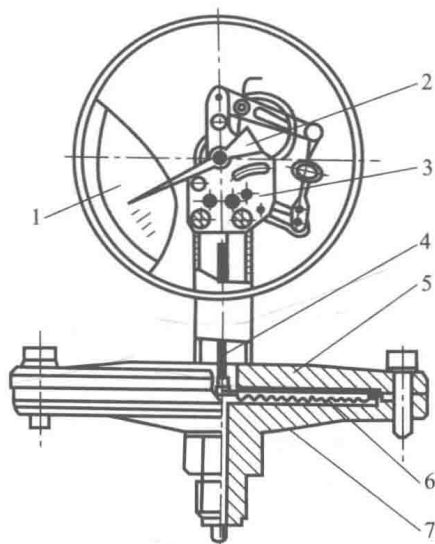


图 2-3 膜片压力表结构示意图

1—刻度盘;2—指针;3—齿轮传动机构;4—连杆;
5—上法兰;6—膜片;7—下法兰

4. 膜盒压力表

(1) 膜盒压力表结构

膜盒压力表是用金属膜盒作弹性敏感元件的压力表。

膜盒压力表按外形可分为矩形水平安装结构(如图 2-4 所示)、矩形垂直安装结构和圆形径向安装结构(如图 2-5 所示)三种型式。

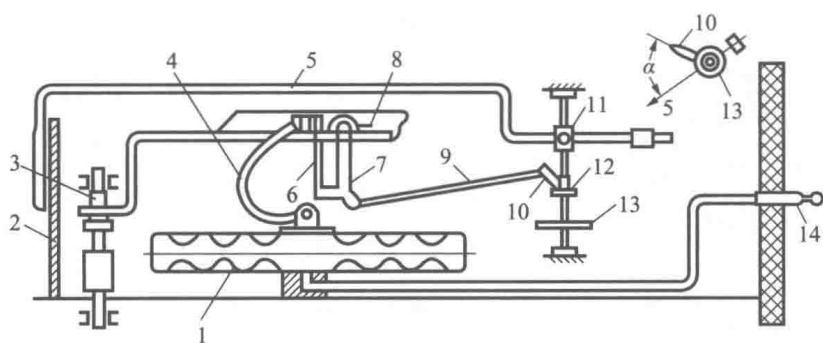


图 2-4 矩形水平安装结构膜盒压力表

1—膜盒;2—刻度板;3—调节螺母;4—弧形连杆;5—指针;6—簧片;7—曲柄;8—调整螺钉;
9—拉杆;10—拐臂;11—固定指针套;12—固定轴;13—游丝;14—压力接头

(2) 膜盒压力表工作原理

在被测气体介质压力作用下,膜盒发生弹性变形,膜盒的自由端产生位移,有连杆带动传动机构并进行放大,使指针轴偏转(或转动),指针指示出被测量压力值。

5. 波纹管压力表

(1) 波纹管压力表结构

波纹管压力表是金属波纹管作弹性敏感元件的压力表,其结构如图2-6所示。

波纹管压力表分为指针式和记录式两类。指针式波纹管压力表又分为无电接点和带电接点两种型式;记录式波纹管压力表也分为无电接点和带电接点两种型式。

波纹管记录式压力表是固定形式的工业仪表,在通常情况下,可以用于测量生产过程中各种液体、蒸气和气体的压力。

波纹管记录式压力表一般有单路或多路记录的压力表,圆盘形、条形、表格形记录纸的压力表,一个或几个分立记录区的压力表。

(2) 波纹管记录式压力表工作原理

被测量压力经过压力接头进入由波纹管和螺旋弹簧组成的波纹管压力室,波纹管底部受压力作用产生位移,由导压支杆推动传动机构,由传动机构带动记录笔,在转动的记录纸上记录被测量的压力值或疏空。

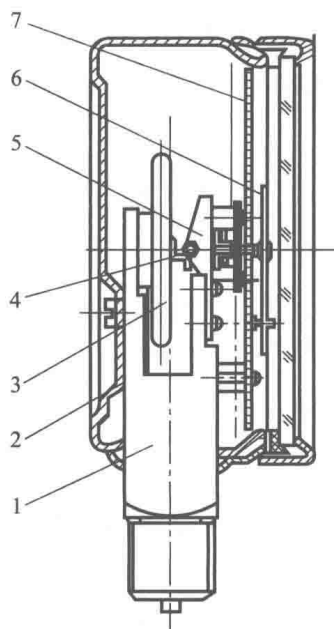
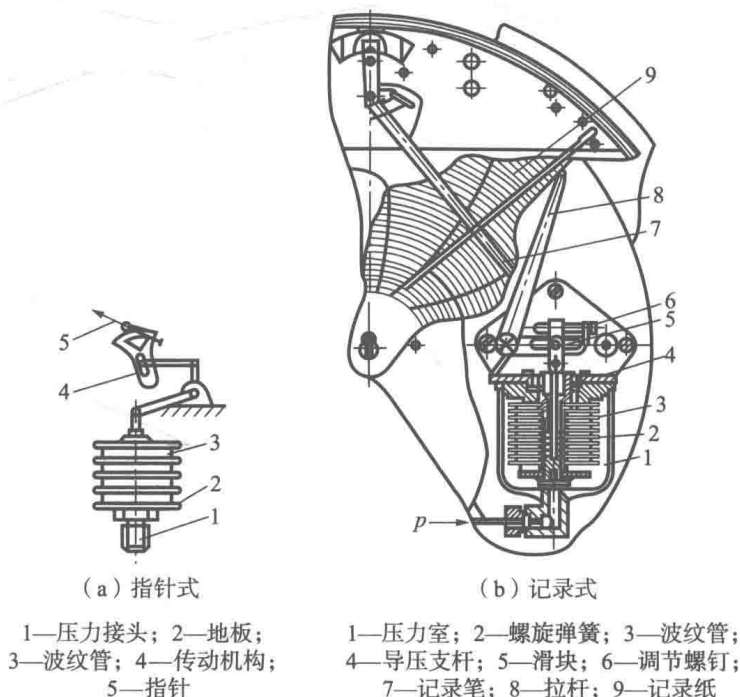


图2-5 圆形径向安装结构膜盒压力表

- 1—压力接头;2—表壳;3—膜盒;4—拉杆;
5—传动机构;6—指针;7—刻度板



(a) 指针式

(b) 记录式

- 1—压力接头;2—地板;
3—波纹管;4—传动机构;
5—指针

- 1—压力室;2—螺旋弹簧;3—波纹管;
4—导压支杆;5—滑块;6—调节螺钉;
7—记录笔;8—拉杆;9—记录纸

图2-6 波纹管压力表结构示意图

记录纸以压力计量单位分度,记录纸转动机构有钟表机构和同步电机两种型式。

6. 电接点压力表

(1) 电接点压力表结构

电接点压力表是在一般弹簧管压力表内安装接点装置而构成的,接点装置的结构如图 2-7 所示。

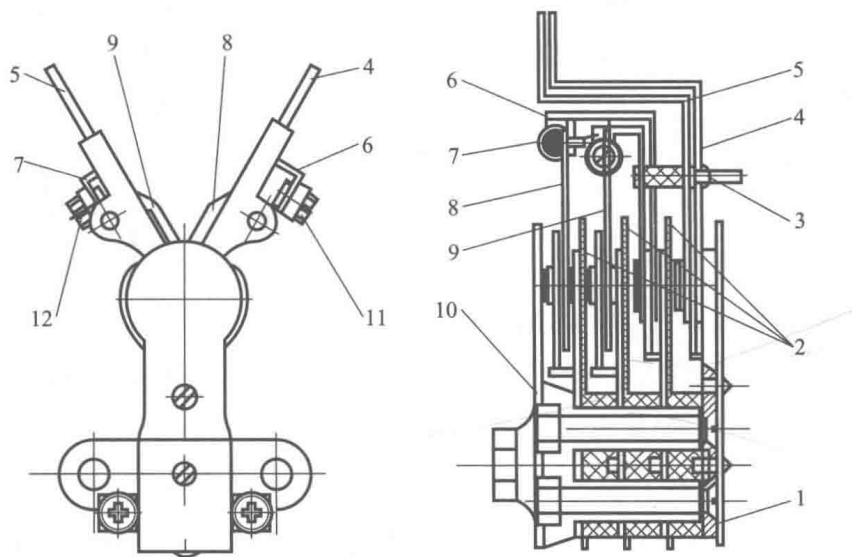


图 2-7 接点装置结构示意图

1—铭牌;2—绝缘垫块;3—拨动销;4—上限设定针;5—下限设定针;6—上限导电针;
7—下限导电针;8—上限活动针;9—下限活动针;10—底垫;11—上限磁铁;12—下限磁铁

电接点压力表的指针(通常称指示指针)上装有一根支柱电触头;接点装置的接点已制成可转动、有电触头的限位指针(通常称设定针),接点装置安装在压力表的接头上,电触头有电信号线引到外壳上的接线盒中;表玻璃中央装有可拨动设定针的旋钮。

(2) 电接点压力表工作原理

被测量压力介质作用于弹簧管后产生弹性变形,引起弹簧管管端位移,通过拉杆带动齿轮传动机构将管端位移进行放大,并带动指示指针在刻度盘上指示出被测量的压力值。与此同时,指示指针在转动时,其上的支柱电触头与设定好限位位置的设定指针上的触点相接触(断开或接通)的瞬间,电气线路接通控制系统,在设定压力处发出报警信号(指示灯或电铃),以达到对使用的设备进行“位式控制”。

电接点压力表按工作原理分为直接作用式电接点压力表和磁助直接作用式电接点压力表。磁助直接作用式电接点压力表的设定针上加装磁铁,磁铁具有增加接点的吸力,加快接触动作,使触点接触可靠、消除电弧的作用。